

## 我国非粮生物乙醇产业的回顾与展望\*

# Review and Prospect of the Molasses Ethanol and Cassava Ethanol Industry

黎贞崇

LI Zhenchong

(广西科学院, 广西南宁 530007)

(Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

**摘要:** 目前, 我国非粮生物乙醇只有糖蜜乙醇和木薯乙醇形成产业规模。本文回顾糖蜜乙醇和木薯乙醇产业的发展历程, 分析糖蜜乙醇和木薯乙醇产业的现状, 指出发展过程中企业的困境, 提出糖蜜乙醇和木薯乙醇产业的发展方向和应对措施。

**关键词:** 乙醇 糖蜜 木薯 现状 困境 展望

**中图分类号:** Q939.97 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)02-0196-05

**Abstract:** Only molasses ethanol industry and cassava ethanol industry had industrial scale in our country. The development of molasses ethanol and cassava ethanol industry were reviewed, the current situation of molasses ethanol and cassava ethanol industry were analyzed, the plight of the enterprise of the development process was pointed out, the development direction and countermeasures of the molasses ethanol and cassava ethanol industry were put forward.

**Key words:** ethanol, molasses, cassava, current situation, enterprise of the development, prospect

## 0 引言

目前, 我国纤维素乙醇产业、甜高粱乙醇产业、甘薯乙醇产业等非粮生物乙醇的生产规模不大, 而糖蜜乙醇和木薯乙醇的产业形成时间长, 生产规模巨大, 是我国非粮生物乙醇的主要产业, 因而本文的非粮生物乙醇产业仅讨论糖蜜乙醇和木薯产业。我国的非粮生物乙醇产业在 2008 年达到一个前所未有的繁荣, 后逐渐走向衰退, 2015 年至今非粮生物乙醇产业进入了寒冬。随着煤化工制备乙醇技术的成熟, 非粮生物乙醇还将迎来严冬。广西是糖蜜乙醇产业的最大省份, 也是木薯乙醇产业的主要省份, 其发展困境、发展机遇和发展方向具有代表性, 对该产业进行回顾

和展望有利于我们认清非粮生物乙醇产业的发展形势, 为该产业的技术转型和健康发展做准备, 本文以广西为例, 对糖蜜乙醇和木薯乙醇产业进行回顾和展望。目前广西的乙醇产业面临着巨大的生存压力, 乙醇企业和车间从 2008 年的 110 多家减少到 2015 年的 28 家, 而能维持正常生产的企业不到 10 家。由于技术进步, 5 万 t 级的煤化工乙醇项目已开工建设。煤化工乙醇的生产成本不到 4 000 元/t, 远低于非粮生物乙醇的生产成本, 这使得非粮生物乙醇将面临着前所未有的生存压力。非粮乙醇产业面临着什么样的困境, 是否还能生存, 如何生存, 下一步如何发展, 这些问题引起了业界的思考和讨论。木薯燃料乙醇是我国非粮燃料乙醇的主要产业, 黎贞崇等<sup>[1]</sup> 在 2008 年就对木薯燃料乙醇的不利因素作出了分析, 提出了推广良种种植等措施, 李雪莲<sup>[2]</sup> 提出了二氧化碳高效回收等清洁生产措施, 从政策因素、企业维度和市场维度 3 个角度提出政府的政策和行为是最重要的影响因素。上述研究者给出了木薯乙醇发展的

收稿日期: 2016-10-10

作者简介: 黎贞崇(1970—), 男, 研究员, 主要从事生物能源开发与利用研究, E-mail: 2503915@163.com。

\* 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科重 1598004-4)资助。

影响因素和对策,但随着技术的进步、环保要求的落实、原料的多重性选择因素等影响,在同样的政策措施和环保要求下,单单从政策、企业、市场等因素也无法引导企业走出困境,糖蜜乙醇和木薯乙醇产业必须从采用新技术、延长产业链、从环保要效益等方面来考虑企业的生产和发展,这也是本文的研究角度。本文就广西糖蜜乙醇和木薯乙醇产业的发展进行回顾,深入分析该产业的发展困境,对下一步如何发展提出技术展望,供同行参考。

## 1 糖蜜乙醇和木薯乙醇产业的发展回顾

广西是我国最大的甘蔗产地和木薯产地,广西蔗糖产量最高时达 937 万 t,糖蜜产量 180 万 t 以上。广西的木薯产量最高时达 600 万 t(鲜薯)。丰富而低廉的乙醇原料催生了大批的乙醇生产企业。为了减少农产品的积压和发展当地产业,木薯产区的各级政府需要农产品加工企业对于木薯等农产品进行深加工,同时,由于农产品加工后利润高,对环保的要求不严,导致各地匆忙上马的 120 多家乙醇企业规模大小不一,采用的技术参差不齐。

### 1.1 糖蜜乙醇

糖蜜是甘蔗制糖的副产物,含有丰富的还原糖。由于其成分复杂,很少被其它产业用作原料,却是乙醇产业最好的原料来源。按原料蔗的 3% 计,广西甘蔗种植面积长年在  $8 \times 10^5$   $\text{hm}^2$  以上,按单产 75 t/ $\text{hm}^2$  计,广西的糖蜜产量长年在  $1.8 \times 10^6$  t 以上。在 2008 年前期,由于制糖企业的制糖技术并不先进,其榨出率、出糖率还不高,糖蜜中的还原糖含量还比较高,达 52% 以上,部分糖蜜的还原糖达 60%。低廉的糖蜜价格、丰富的还原糖,加上可观的乙醇价格,乙醇生产企业遍布各产糖区。

由于门槛低、利润高,加上政府追求 GDP 的需要,各地上马的乙醇企业规模不一,最小的企业,其规模不到 2 000 t/a。由于利润高,企业未注重生产技术,其发酵水平参差不齐,大部分车间采用间隔发酵,常压蒸馏等落后技术,其发酵酒度仅在 7%(V/V) 左右。在环保处理方面,企业基本无任何环保处理措施,其废液或放氧化塘,或直接农灌处理,或者偷排,其环保影响大。低的发酵酒度伴随着高能耗、高污染,这是我国糖蜜乙醇企业的发展初期。

### 1.2 木薯乙醇

广西的气、水、热条件非常适合木薯的种植,广西木薯种植面积长年在  $3 \times 10^5$   $\text{hm}^2$  左右,鲜薯总产量  $6 \times 10^6$  t 以上,种植面积和产量都占全国的 60% 以上。由于木薯易种易长,对栽培的要求不高,南宁市广西科学 2017 年 4 月 第 24 卷第 2 期

周边的崇左以及北海、钦州、百色等市都大批量种植木薯。此外,越南是种植木薯的大国,广西与越南接壤,是越南木薯的主要产销地。木薯干片的淀粉含量在 65% 以上,每 2.7 t 干片可生产 1 t 乙醇。由于木薯是非粮作物,其主要用途是用于生产乙醇和淀粉。2008 年以前,由于市场对木薯淀粉的需求量不大,木薯更多的用途是作为乙醇生产的原料。

木薯收获季节集中、不易存放,而乙醇生产对木薯品质的要求不高,导致木薯种植产地的乙醇企业众多。同样地,由于对环保要求不高,政府追求 GDP,各地上马的木薯乙醇企业生产规模不一,最小的规模为 1 500 t/a,最大的是广西中粮生物能源有限公司,其规模为  $2 \times 10^5$  t/a。相对于糖蜜乙醇,木薯乙醇生产多了原料粉碎、蒸煮、糊化、糖化等工艺,其投入比糖蜜乙醇大,需要的辅料多,成本比糖蜜乙醇高。此阶段的木薯乙醇企业通常采用间隔发酵、常压蒸馏等传统技术<sup>[3]</sup>。鲜薯由于含水量高,其发酵酒度较低,通常在 8%(V/V) 以下。木薯干片发酵酒度为 10%(V/V) 以上<sup>[4]</sup>。由于木薯乙醇发酵废液的 COD 含量通常为糖蜜乙醇的 1/3~1/2,其环保压力不大,对当地的影响也不大,通常采用氧化塘或农灌处理。部分乙醇企业同时生产木薯淀粉,他们会根据市场需求和木薯原料的品质来调节生产,有较强的市场调节能力。

## 2 糖蜜乙醇和木薯乙醇产业的现状和困境

国家环保部门自 2006 年起加强了乙醇企业的监管,对乙醇的生产规模提出了具体的要求,对小规模乙醇生产企业的关停整改给出时间表。部分企业为了适应环保的要求,扩大产能,增加环保处理措施,期待在通过环保要求的同时,扩大生产能力和盈利能力。不幸的是,2008 年的金融危机对糖蜜乙醇和木薯乙醇产业造成巨大冲击,市场对乙醇的需求大幅减少,而原料价格不断上涨,形成了产品价格与原料价格的“剪刀效应”,企业面临着前所未有的压力。再者,煤化工制备乙醇技术的成熟,使得制乙醇的成本下降到 4 000 元/t 以下,许多糖蜜乙醇企业和木薯乙醇企业因此或停产或倒闭,坚持生产的企业也存在着巨大的成本压力。

### 2.1 糖蜜乙醇

国家环保部门要求关停 15 000 t/a 规模以下的糖蜜乙醇生产企业,对于 15 000 t/a 规模以上的企业,要求配备废液处理设备,实现废液零排放。受此影响,目前广西仅存 18 家糖蜜乙醇生产企业。此外,受金融危机影响,市场对非粮生物乙醇的需求大幅下

降。乙醇价格的下降,产业竞争的日趋激烈,使得乙醇生产已处于薄利或无利状态,企业必须采用先进的生产技术降低成本才能维持生产。因此,企业不得不对生产线进行技术改造,从而使企业的生产水平有了较大的提高,发酵工艺由间隔发酵改为连续发酵或半连续发酵,发酵菌种根据技术人员的熟练程度或采用活性干酵母或游离酵母,同时也纷纷采用双流加浓醪发酵技术、无酸或微酸发酵技术、三塔差压蒸馏技术等,将发酵酒度提升到10%(V/V)以上,将残糖控制在2.5%以下,酒精产品也相应地得到提升。废液处理采用浓缩燃烧或浓缩制肥技术,实现废液的零排放。

乙醇价格的长期低迷导致企业竞争加剧,2016年广西能维持生产的糖蜜乙醇企业不到5家,其它企业或等待资金上马环保设备,或面临着资金链短缺的压力,无法实现正常生产。维持正常生产的企业同样不轻松,不但面临着原料不稳定、酒精产品价格低下的压力,还要面临着劳动力等多重压力。企业希望采用新技术,但缺乏采用新技术的人、财、物等因素的把握。由于糖蜜乙醇企业的产品单一,抗市场风险能力弱,其生产经常处于半饱和状态。

## 2.2 木薯乙醇

国家环保部门对木薯乙醇的生产规模提出更高的要求,要求关停30 000 t/a规模以下的木薯乙醇企业,对于规模达到30 000 t/a规模以上的企业,要求配备达标的环保设备,实现木薯乙醇废液的达标排放。整改后,广西木薯生产企业仅为13家(部分企业为糖蜜和木薯双原料生产),规模最大的是广西中粮生物质能源有限公司的200 000 t/a规模的生产线。受到生产规模环保整改要求的影响,企业纷纷配备先进的技术,如干法细粉碎技术、湿法变频节能粉碎技术、双酶法中温喷射液化技术、同步糖化浓醪发酵技术、超大罐发酵工艺技术、无酸或微酸发酵技术、差压蒸馏技术等,其发酵酒度至少在10%(V/V)以上,部分企业达13%(V/V)以上,最高达15%(V/V)以上,酒精产品质量不断得到提高,杂醇油副产品的附加值也相应增加。清洁生产采用隔膜板框式酒糟压滤脱水技术、酒糟气流干燥技术、烟道气酒糟气流干燥技术、CIP在线清洁系统、二氧化碳高效回收系统等,生产成本不断降低,产品竞争力得到加强。

2008年后木薯原料价格不断攀升。广西中粮生物质能源有限公司200 000 t/a规模的生产线投产后,木薯鲜薯的收购价从250元/t直接提高到450元/t,2013年后更是提高到650元/t。除此之外,木薯原料还要受到木薯淀粉生产企业的竞争。由于木

薯变性淀粉价值高,其优质木薯原料往往流向淀粉企业。木薯乙醇价格同样受糖蜜乙醇价格的竞争,由于糖蜜乙醇生产工艺比木薯乙醇生产工艺短,生产成本比木薯乙醇生产成本低,木薯乙醇成本竞争优势不如糖蜜乙醇。与糖蜜乙醇相比,木薯乙醇的优势是废液处理成本低,木薯废渣附加值高。尽管如此,广西的木薯乙醇企业仅有不到10家在维持生产。而多产品渠道的乙醇生产企业都能维持正常的生产,如广西金源生物化工实业有限公司、广西新天德能源有限公司等。广西中粮生物质能源有限公司的产品渠道为燃料乙醇,其竞争力比其它企业强,但受广西燃料乙醇封闭运行不完全影响,其生产未能达产,仅为半饱和状态。

## 3 糖蜜乙醇和木薯乙醇产业展望

非粮生物乙醇可用于食品、化妆品和药品生产,这是煤化工乙醇无法替代的,因而,产品用途的特殊性使得非粮生物乙醇产业不可能消失,但竞争将异常激烈。企业的竞争同样尊重优胜劣败的规则,我们可以看到,部分企业无法生产,而部分企业却常年生产。从常年维持生产的企业来看,必须降低生产成本、延长产业链、从环保中要效益,才能实现企业的正常运转。其他企业要实现生产的正常化,必须对产业链、生产技术和环保技术进行革新。

### 3.1 糖蜜乙醇

糖蜜是制糖的副产品,由于蔗糖主产品受国家收储保护的影响,糖蜜将维持一定的供应量。而糖蜜除制备乙醇这一用途外,再无大宗产品将其作为原料,因而,糖蜜乙醇产业将在很长的一段时间内存在并发展。

随着制糖的技术进步,糖蜜原料的还原糖含量降低,糖蜜整体品质下降,发酵酵母受影响非常大。加上糖蜜乙醇的环保要求高,浓缩燃烧的技术未完全成熟,糖蜜乙醇的生产大受影响。此外,由于浓缩过程的废水处理难以实现零排放,也影响了企业的正常生产。企业配备环保设备时,自办生产线制备有机肥的模式由于受销售渠道影响,并不是企业的首选模式。而浓缩液外卖给有机肥料企业进行处理的模式易受有机肥企业的压制。糖蜜价格低是企业维持正常生产的主因,但要维持生产,还必须采用清洁生产新技术,降低生产成本,减少废液排放,降低环保处理成本,革新燃烧技术,提高生产正常率,并且延长有机肥产业链,提高综合效益,否则,也难维持正常生产。

发酵工艺方面,高浓度发酵是降低生产成本的必须选择,传统的活性干酵母很难实现高浓度发酵,其

发酵酒度最高达到 12% (V/V), 平常在 10% (V/V) 左右。游离酵母可实现高浓度发酵, 其发酵酒度可达 15% (V/V)。糖蜜发酵每提高 1% (V/V) 酒度, 可减少 10% 的能耗和 10% 的废液排放, 酒度从 10% (V/V) 提高到 13% (V/V), 就可降低 30% 的能耗和减少 30% 的废液排放, 其成本效应极为可观。游离酵母可提高还原糖的转化率和产品得率, 间接降低生产成本。此外, 游离酵母具有高抗性, 可根据糖蜜成分变化来选择不同抗性的游离酵母, 以实现发酵生产的高水平。但游离酵母存在换种技术性强、换种时间较长、换种需要增加扩培设备等困难, 但在生产成本关系到企业的生存时, 这种困难势必克服。企业可通过增加扩培设备、培养扩培人员等措施来实现技术升级。无酸发酵或微酸发酵也是糖蜜发酵的趋势, 无酸发酵或微酸发酵可减少或杜绝硫酸的使用, 大幅减少废液中硫的含量, 从而降低浓缩燃烧中结垢的几率, 进而降低原料成本和环保成本。无酸或微酸发酵会增加抗生素或溶菌酶的用量, 但减少硫酸的成本足以弥补抗生素或溶菌酶成本。

环保处理方面, 由于零排放的需要, 广西所有的糖蜜乙醇企业已经配备或正在配备废液浓缩设备, 浓缩后有两种处理途径, 一是焚烧, 焚烧方面不易受有机肥企业的控制, 乙醇企业可独自配备设备处理浓缩液, 但焚烧处理仍存在易结垢等一系列的技术问题, 常导致停机检修, 影响生产进程。为了杜绝停机检修, 一些企业同时配备两套焚烧设备, 确保了生产的正常率。二是制作有机肥, 由于有机肥销售需要解决品牌、销售渠道等问题, 乙醇企业大多选择与肥料企业合作, 或全部输送到肥料企业处理, 或与肥料企业就地合作建立有机肥生产线。后一种方式易受肥料企业挟持, 提高处理成本, 但好处是不必担心后端的技术问题和销售问题。

产品的多样性方面与木薯乙醇相同, 由于木薯乙醇企业已有企业实现产品的多样性生产, 因而糖蜜乙醇的产品多样性将在木薯乙醇部分阐述。

### 3.2 木薯乙醇

木薯淀粉企业对木薯原料的竞争势必导致木薯原料价格的波动。由于木薯乙醇对木薯品质的要求不高, 木薯乙醇企业通常也能与木薯淀粉企业竞争。但糖蜜乙醇的低成本势必要求木薯乙醇企业提高生产技术水平。我国木薯乙醇生产技术水平、成本控制水平差异很大, 最低生产成本仅为 4 500 元/t, 而最高的生产成本超过 5 500 元/t, 存在 1 000 元/t 的差别。这也是有的企业能正常生产, 而有的企业无法生产的原因之一。首先, 木薯鲜薯发酵酒度过低, 导致

废液量过大。其次, 糊化过程粘度过大, 无法实现高浓浆的输送, 也无法实现浓醪发酵。第三, 发酵渣量大, 易发臭变质, 增加环保压力。第四, 产品单一, 在乙醇价格低下时难于应对, 等等。这些是木薯乙醇生产企业面临的主要问题。要实现企业的正常生产, 木薯乙醇生产企业必须采用先进的清洁生产技术, 降低原料前处理和发酵过程的成本, 延长产品的产业链, 加强木薯渣、废液的综合利用, 向产业链要效益, 才能实现生产的正常化。

原料前处理方面, 木薯需要经过除杂、粉碎、蒸煮、糊化、糖化等工艺后, 才能进入发酵工艺, 因而原料前处理工艺的先进程度关系到生产成本。由于收购地的不同, 其杂质也不同, 如越南木薯干片的含砂较高。木薯乙醇生产企业要根据不同的原料设备添置不同的除杂设备。木薯粉的糊化关系着高浓度发酵的实现与否, 企业可以通过更换高功率的输送机、使用高性能液化酶来实现高浓度糊化液的输送。液化过程可采用双酶法中温喷射液化技术, 利用液化喷射器将蒸汽直接喷射入淀粉浆薄层, 瞬时达到淀粉液化所需要的温度, 完成淀粉的糊化和液化, 实现低温节能效果, 便于连续化生产。由于支链淀粉的存在, 为提高淀粉转化为糖的效率, 可添加含有普鲁兰酶的复合酶来提高淀粉转化率。

发酵工艺方面与糖蜜乙醇发酵工艺相近, 传统的活性干酵母很难实现高浓度发酵, 其发酵酒度最高达到 13% (V/V), 平常在 10% (V/V) 左右。游离酵母可实现高浓度发酵, 其发酵酒度可达 15.1% (V/V)<sup>[5]</sup>。高性能的游离酵母可提高糖的转化率和产品得率。游离酵母的换种问题与糖蜜乙醇游离酵母的问题相同, 其措施也相同, 无酸或微酸发酵也是木薯乙醇发酵的趋势。同步糖化浓醪发酵技术 (SSF) 是木薯乙醇发酵的先进技术, 该技术可实现发酵酒度大于 13% (V/V) 的目标, 且节约用水, 设备利用率较高。大罐发酵工艺技术是节约生产成本的重要技术, 罐体少控制污染容易, 具有占地少、冷却用水少及操作简单的优点。

产品多样性方面, 乙醇生产企业的产品单一会大大降低企业的抗风险能力, 从近年乙醇企业的生产正常率可以看出, 产品多样化的企业, 其市场适应性强, 正常生产的时间长, 所以产品的多样化是企业的发展趋势。对于乙醇企业而言, 不能将乙醇作为唯一的终端产品, 要根据市场的需求, 生产多品种的生物化工产业, 甚至小众产品, 延伸乙醇的产品产业链, 提高抗市场风险能力。如二氧化碳的收集和销售可加强与大宗饮料企业合作, 提高二氧化碳的收入, 杜绝二氧

化碳的无利润排放。

综合利用方面,木薯乙醇发酵后存在大量的废渣和废液。设法将废渣和废液变废为宝。废渣中含有蛋白、氨基酸等营养物质,是海洋养殖、畜牧养殖等用户低端饲料的原料来源,企业可根据饲料企业的需求,对废物进行二次加工,实现废渣的高值利用,反哺乙醇主业。废渣还可厌氧发酵生产生物燃气,废渣厌氧发酵可采用与废液混合发酵的方式,这种综合利用方式已在广西得到产业化示范,效果良好。废渣生产燃气不但能有效处理工业废物,而且可以延伸出燃气产品,扩大产品种类,增加企业收益。

#### 4 结语

由于煤化工乙醇产业技术的成熟和规模化生产的实现,非粮生物乙醇产业受到史上最大的生存压力。延长产品产业链、提高发酵技术水平、增加综合利用效益是糖蜜乙醇和木薯乙醇产业的技术升级方向,其过程是痛苦的,但是企业转型发展的唯一选择。这种企业转型是当下供给侧改革力推的方式,乙醇企业可通过技术革新、技术升级等方式,利用科技成果转化资金,借助产学研合作,将新技术、新产品引入企业的生产线中,实现企业的技术转型升级,从而实现企业的正常、健康发展。

#### 参考文献:

[1] 黎贞崇,黄志民,杨登峰,等.影响木薯燃料乙醇产业发展的不利因素及对策[J].可再生能源,2008,26(3):106-110.  
LI Z C, HUANG Z M, YANG D F, et al. The harmful

factors and countermeasure influencing development of cassava fuel-alcohol industry[J]. Renewable Energy Resources, 2008, 26(3): 106-110.

[2] 李雪莲. 广西省武鸣县木薯乙醇产业发展的影响因素研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.  
LI X L. The analysis on the impact factors for the development of cassava made fuel ethanol industry in Wuming County, Guangxi Province[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.

[3] 黎贞崇,梁秀明,黄纪民,等.我国木薯乙醇发酵工业节能降耗的问题和出路[J].酿酒科技,2010(2):121-124.  
LI Z C, LIANG X M, HUANG J M, et al. Problems and solutions in energy-saving in ethanol production by Cassava in China[J]. Liquor-making Science & Technology, 2010(2): 121-124.

[4] 黎贞崇,梁雪强.木薯酒精酵母菌种工程化选育的思路和方向[J].广西科学院学报,2015,31(2):103-106.  
LI Z C, LIANG X Q. Ideas and orientation of engineering breeding of yeast strain for Cassava ethanol[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2015, 31(2): 103-106.

[5] 黎贞崇,徐大鹏,邓文生,等.酿酒酵母高产菌株的木薯酒精产业化生产试验[J].广西科学院学报,2015,31(2):107-112.  
LI Z C, XU D P, DENG W S, et al. High gravity fuel ethanol production by the fermentation form uncooked Cassava flour[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2015, 31(2): 107-112.

(责任编辑:陆雁)